

Aalborg Universitet



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Analyse vindklima ved Havnehusene

Rasmussen, Michael R.; Ratkovich, Nicolas Rios

Publication date:
2012

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Rasmussen, M. R., & Ratkovich, N. R. (2012). *Analyse vindklima ved Havnehusene*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Technical reports Nr. 158 <http://vbn.aau.dk/da/publications/tillaegsrapport-til-analyse-vindklima-ved-havnehusene%28c1f10835-f481-4d70-81a2-f5155994b92e%29.html>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

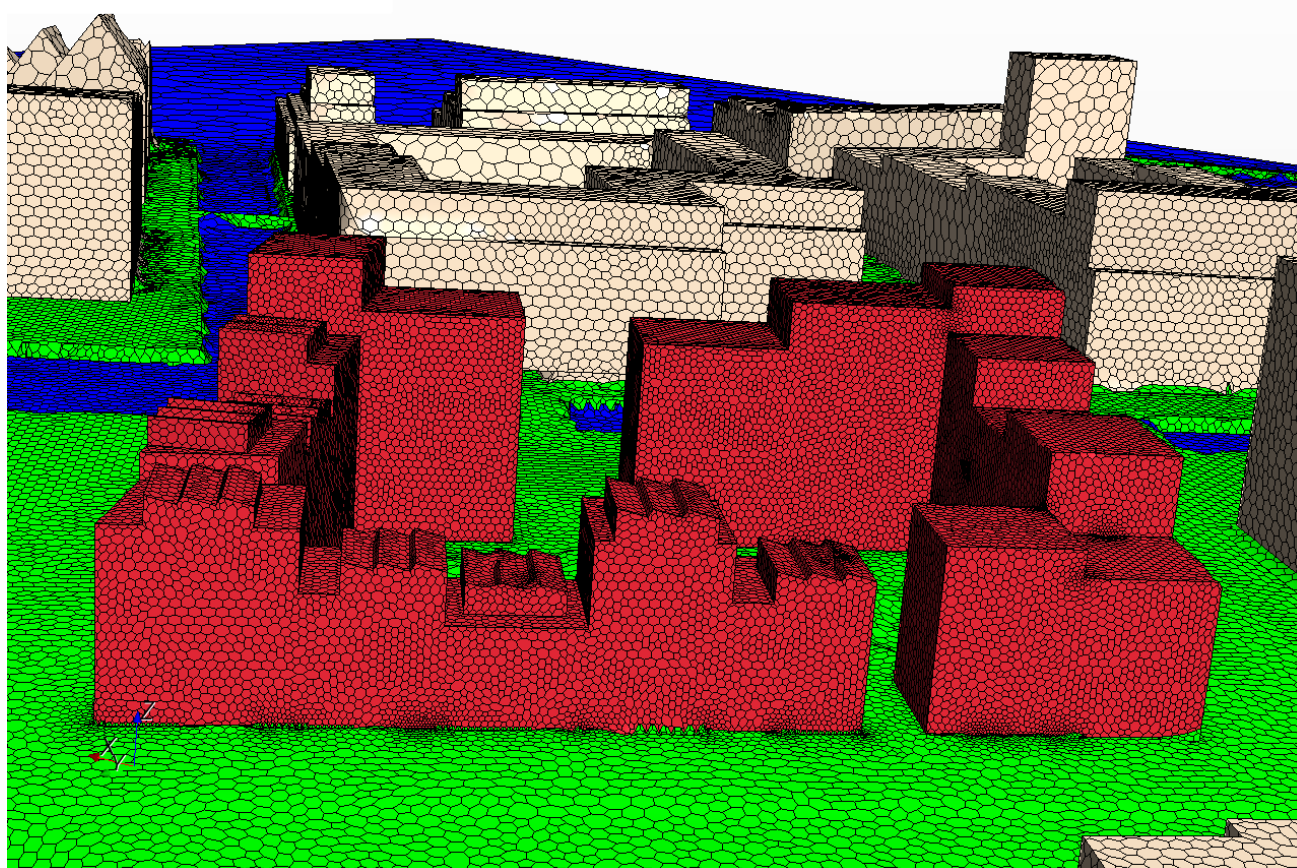
Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Havnehusene

Vindklimaundersøgelse

Michael R. Rasmussen
Nicolas Ratkovich



ISSN 1901-726X

DCE Technical Report No. 158

Aalborg Universitet Institut for Byggeri
og Anlæg Vand og jord

DCE Technical Report No. 158

Analyse vindklima ved Havnehusene

Michael R. Rasmussen
Nicolas Ratkovich

April 2012

© Aalborg Universitet

Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

Technical Reports anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

Technical Memoranda udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

Contract Reports benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

Lecture Notes indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

Theses er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

Latest News rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgivet 2010 af
Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sohngårdsholmsvej 57,
DK-9000 Aalborg, Danmark

Trykt i Aalborg på Aalborg
Universitet

ISSN 1901-726X
DCE Technical Report No. 158

Indhold

1 Indledning	5
1.1 Den geometriske model	6
2 Anvendte metoder	7
2.1 Komfort- og sikkerhedskriterier	7
2.1.1 Komfortkriteriet	8
2.1.2 Sikkerhedskriteriet	8
2.4 Vindstatistik	9
2.3 Beregningsnet	11
3 Resultater	12
3.1 Faktaboks: Hvordan læses overskridelsessandsynligheder?	12
3.2 Komfortniveauer omkring Havnehusene	13
3.3 Sikkerhedsniveauer omkring Havnehusene	15
4 Hastighedsfordelinger	16
3.1 Faktaboks: Hvordan læses hastighedsfordelinger?	16
5 Konklusion	23
6 anbefalinger	23
Litteratur	24

1. Indledning

At analysere vindforhold om et eksisterende eller kommende byggeri kan tjene flere forskellige formål. Dels at afklare årsagen til eventuelt udsatte zoner og mulige tiltag til forbedring heraf, og dels at fastlægge om nye bygninger skaber forhold, der er ukomfortable eller direkte farlige. Ved vindundersøgelser foretaget ved Aalborg Universitet skelnes der mellem:

- Vindscreening
- Analyse af vindklima.

En *vindscreening* er en overslagsberegning med det formål at identificere zoner hvor vinden enten er forstærket eller hvor der skabes gode læforhold. Metoden er et godt værktøj til planlægning af forskellige zoners brug, ligesom den kan give et billede af hvor der eventuelt er brug for afskærmning. Til beregningen benyttes en model med mindre udstrækning og med grovere opløsning end ved en vindklimaanalyse. Samtidig benyttes otte vindretninger med en forsimplet behandling af vindstatistikken.

En *vindklimaanalyse* har større fokus på, om komforten og sikkerheden i et område er overskredet i et større tidsrum, end det kan accepteres. For at svare på det, er der behov for en mere detaljeret og større model samt en mere detaljeret behandling af vindstatistikken. Ved en vindklimaanalyse regnes der med vind fra 12 forskellige retninger. Denne rapport er en vindklimaundersøgelse af Havnehusene.



Figur 1.1 Visualisering af det indre område i Havnehusene (Adept Architects og Luplau & Poulsen)

Som det kan ses af figur 1.1 befinder bygningen sig mellem byen og vandet med vision om aktive tage samt et større indre torv. De mikroklimatiske forhold kan derfor spille en rolle for, hvordan området opleves af brugerne. I denne undersøgelse er der sat fokus på, hvordan vindforholdene påvirker brugerne uden om bygningen.

Opførelsen af høje bygninger kan fremkalde vindforhold, der kan være ukomfortable eller direkte farlige. Litteraturen angiver eksempler, hvor vindforholdene har betydet begrænset succes for nye bygninger (Blocken og Carmeliet 2004).

Vindforholdene skal dog tænkes ind i en relativ sammenhæng, da vindeffekterne kan stamme fra andre bygninger eller bygningskonstellationer end de ny opførte. Derfor medtages en række omkringliggende bygværker i beregningen. Disse bygninger er kun for en mindre dels vedkommende fastlagt geometrisk og erstatninger er placeret på de steder hvor det ikke vides hvordan bygninger kommer til at se ud.

Det er vigtigt at understrege at brugerne af området vil opleve vindforholdene meget forskelligt afhængigt af alder, opholdstid og hvilken retning og vindhastighed der forekommer. To forskellige brugere kan således godt opleve området som en stille oase eller som vindomblæst - alt afhængig af, hvor de befinder sig i forhold til bygningen. Placeringen på en tange ud i vandet gør naturligvis også bygningen mere eksponeret, end hvis den var placeret midt i byen, hvor andre huse generere læ.

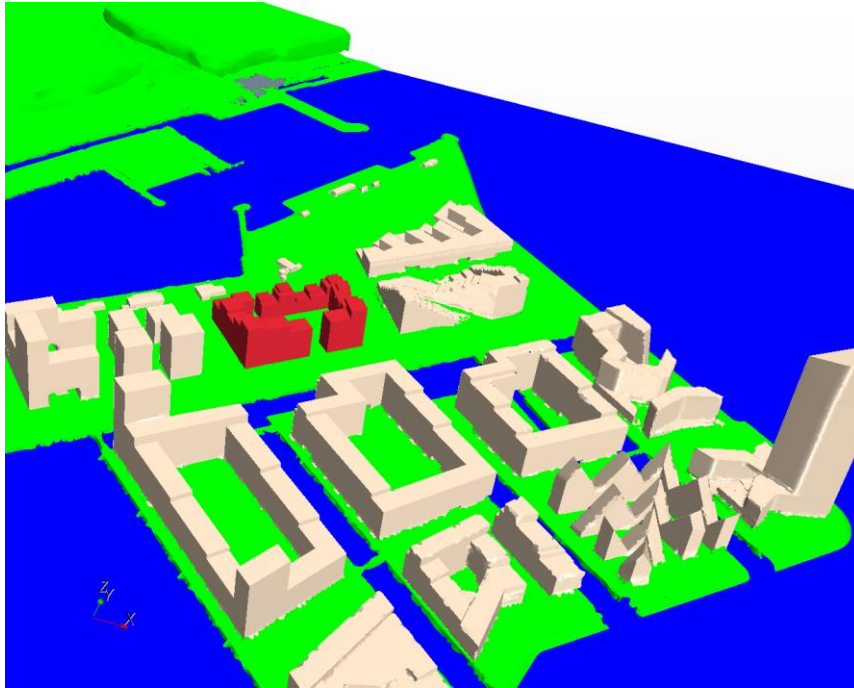
Vindforholdene bestemmes ved Computational Fluid Dynamics (CFD), der er et computerbaseret alternativ til vindtunnelforsøg. Fremskridt i numeriske beregningsmetoder har gjort denne metode lige så pålidelig. CFD kan betragtes som en virtuel vindtunnel

De anvendte CFD modeller følger internationale standarder for præcision i strømningsberegninger. Ligeledes er der anvendt *best practice* normer i opsætningen af modellerne (Franke et al, 2004).

1.1 Den geometriske model

Denne analyse er foretaget på baggrund af digitale modeller af byen og bygningen, som er stillet til rådighed af Adept Architects med baggrund i Århus 3D bymodel.

Beregningsdomænet er udvalgt således, at der mindst er 15 gange bygningens højde til randen af modellen. Det betyder, at der er beregnet i en afstand på 1 km rundt om bygningen og 150 meter over bygningen. På denne måde undgås, at unøjagtige randbeskrivelser influerer på modellens resultater.



Figur 1.2 Oversigt over nærområdet i den geometrisk model. Havnehusene er angivet med rødt.

2. Anvendte metoder

Bestemmelse af vindforholdene i området ved brug af CFD-modeller afhænger af flere parametre som; størrelse på beregningsdomænet, opløsningen af beregningsnettet i beregningsmodellen og modellens randbetingelser.

Metoden går ud på at bestemme vindforholdene 1.7 m over terræn svarende til hoved- højde af en gennemsnitlig fodgænger. Ved at tage hensyn til vindretning og hastighed kan det statistisk forudsiges, hvor ofte en given kritisk vindhastighed optræder i fodgængerniveau.

2.1 Komfort- og sikkerhedskriterier

For at kunne evaluere vindforholdene i et givet område opstilles overskridelseskriterier, der er et udtryk for komforten eller sikkerheden for at færdes i området. Disse kriterier anvendes på middelvindhastigheden og turbulensen i 1.7 m højde, svarende til den gennemsnitlige hovedhøjde for fodgængere.

Det mest omfattende studie af menneskers komfort og sikkerhed i vindstrømninger er gennemført af Hunt, Poulton og Mumford (1976). På basis af dette studie er følgende kriterier opstillet:

$$U_{\text{ækv, fare}} = U + 3\sigma_u \geq 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (1)$$

$$U_{\text{ækv, komfort}} = U + \sigma_u \geq 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (2)$$

Hvor σ_u [m/s] er standardafvigelsen på hastigheden, hvilket er et udtryk for turbulensen, og U [m/s] er

middelhastigheden. Middelhastigheden og standardafvigelsen giv er dermed tilsammen en ækvivalent hastighed. Turbulensen har større indflydelse på sikkerheden end på komforten, og af denne grund vægtes den højere i sikkerhedskriteriet end i komfortkriteriet.

2.1.1 Komfortkriteriet

Da følelsen af komfort afhænger af den aktivitet, der udføres imens en person påvirkes af vinden, inddeles komfortkriteriet i flere niveauer, efter hvor ofte kriteriet er overskredet.

Der findes intet dansk normgrundlag for fastsættelsen af disse komfortniveauer, men der findes en SBI-anvisning nr. 128 (Bjerregaard og Nielsen 1981). SBI-anvisningen baserer sig på en overskridelse af 5 m/s, men tager ikke højde for vindstød.

SBI-anvisningen angiver, at der bør foretages forbedringer hvis 5 m/s er overskredet mere end 20 % af tiden. Kriterierne fra den hollandske norm NEN 8100, som er baseret på nyere forskning, vurderes at repræsentere de faktiske vindforhold bedre. Disse kriterier fremgår af tabel 1.

Tabel 1 Inddeling af klasser for komforten i et givent område efter overskridelses sandsynlighed (%) i den hollandske vindkomfortnorm (efter Blocken og Persoon 2009).

Aktivitet		Hurtig gang	Spadsere	Sidde
<2.5	A	God	God	God
2.5-5.0	B	God	God	Moderat
5.0-10.0	C	God	Moderat	Dårlig
10-20	D	Moderat	Dårlig	Dårlig
>20	E	Dårlig	Dårlig	Dårlig

2.1.2 Sikkerhedskriteriet

Sikkerhedskriteriet er blevet inddelt i tre niveauer; områder, der ved stærk vind, ikke kan betragtes som usikkert at færdes i, områder med begrænset sikkerhed, og områder hvor det er usikkert at færdes i ved stærk vind.

Som for komfortkriteriet bygger niveauinddelingen på, hvor tit sikkerhedskriteriet, givet ved formel (2), er overskredet. SBI-anvisningen anvender ikke et selvstændigt sikkerhedskriterie, men angiver at hvis 5 m/s er overskredet mere end 53 % af tiden er det "meget ubehageligt til farligt". Den hollandske norm 8100 angiver niveauinddelingerne, der fremgår af tabel 2.

Tabel 2 Oversigt over niveauer for sikkerhedsklasser efter overskridelsessandsynlighed er (%) i den hollandske vindkomfortnorm (efter Blocken og Persoon 2009).

Sikkert	Begrænset sikkerhed	Usikkert
<0.05 %	0.05 % – 0.3 %	>0.3 %

Ud fra ovenstående kriterier for overskridelsessandsynligheder og en vindstatistik for området kan der for hele området beregnes, hvor tit kriterierne overskrides. Ud fra dette kan områderne niveauinddeles efter kategorierne. Hovedparten af området bør befinde sig i sikkert område, mens kun en meget lille del kan accepteres at være i begrænset sikkerheds området.

2.2 Vindstatistik

Metoden er baseret på en kobling mellem vindstatistik og gennemregningerne af vind- forholdene i den virtuelle vindtunnel. Den anvendte vindstatistik er fra den nærmeste meteorologiske station, som er placeret i Tirstrup Lufthavn (Troen, 1989). Vinddata er dog ikke brugt direkte, da der er forskel på ruhedsforhold omkring den meteorologiske station og selve byen. Derfor er data omregnet fra geostrof vind ved hjælp af lokale og regionale ruheder.

Der laves beregninger for 12 vindretninger, og for hver af disse er der opstillet en 2 parameter Weibull fordeling, som beskriver sandsynligheden for en given vindhastighed. Fordelingen ser ud som følger:

Tabel 3 Parametre for vindklima 10 meter over jordniveau ved Århus havn.

Sektor	Frekvens	A	k
0	4.09	2.66	1.42
30	4.95	3.37	1.65
60	5.49	6.23	1.66
90	6.79	5.38	1.51
120	7.62	5.16	1.62
150	9.73	4.58	1.60
180	10.2	3.39	1.62
210	9.37	3.22	1.74
240	11.5	3.29	1.88
270	13.2	3.60	1.88
300	10.9	3.68	1.85
330	6.16	3.07	1.51

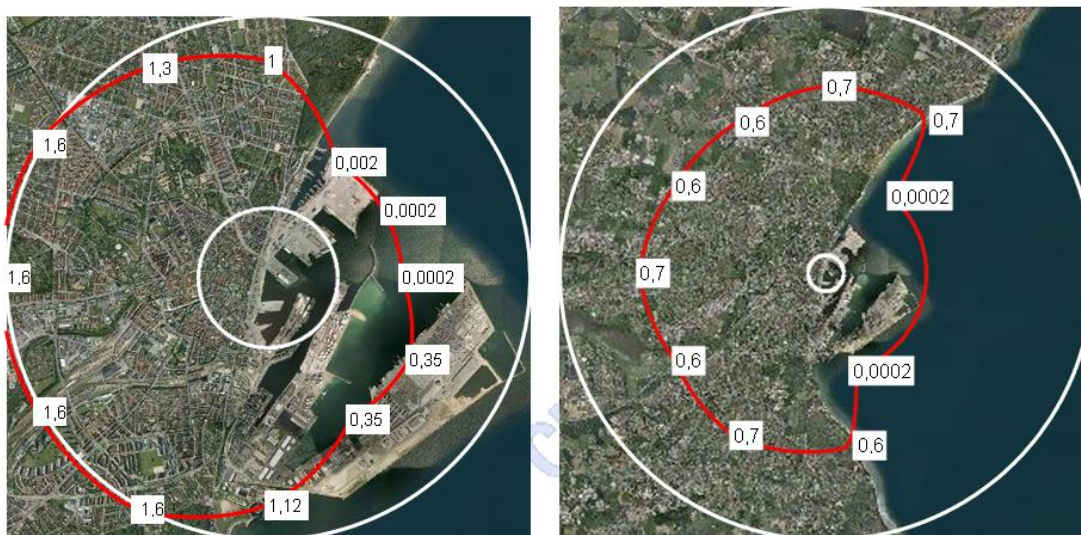
Weibullfordelingerne giver, sammen med frekvensen, sandsynligheden for, at en given vindstyrke og vindretning optræder. Gennemregningerne i den virtuelle vindtunnel angiver, hvordan vinden lokalt strømmer omkring bygningerne. Parametrene er beregnet for den centrale del af havnen og antages at gælde hele havnen.

Til den virtuelle vindtunnel skal der angives et strømningsprofil for indløbet. I den uforstyrrede strømning er hastighedsprofilen logaritmisk:

$$U(z) = \frac{U_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z-d}{z_o}\right) \quad (3)$$

U_* [m/s] er friktionshastigheden, κ [-] er von Karmans konstant, z [m] er højden over terræn, z_o [m] er ruhedshøjden, og d [m] er en afstand, hvormed hastighedsprofilen løftes. I beregningerne er d sat til tre gange ruhedshøjden.

Ruhedshøjden z_o er bestemt ud fra de orthofotos og klassifikationen angivet af Wieringa (1992). De anvendte ruheder fremgår af figur 2.1.



Figur 2.1 Den lokale ruheds afhængighed af vindretning samt den regionale ruhed – Århus Havn.

I vindtunnelen er der anvendt SST k - ω -modellen efter Menter (1994) og Yang m.fl. (2008) til at beregne turbulenten. Indløbsprofilerne for den turbulente kinetiske energi k og den specifikke dissipationsrate ω er bestemt efter profilerne angivet af Yang et al. (2009) og Yang m.fl. (2008):

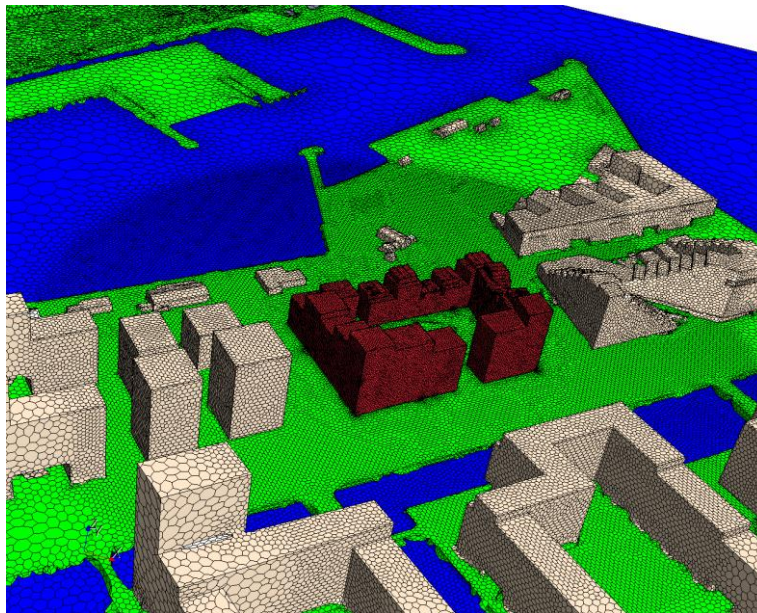
$$k(z) = \frac{U_*}{\sqrt{c_\mu}} \sqrt{c_1 \ln\left(\frac{z-d}{z_o}\right) + c_2} \quad (4)$$

$$\omega(z) = \frac{U_*^3}{k \sqrt{c_\mu}} \frac{1}{z-d} \quad (5)$$

Hvor c_μ , c_1 og c_2 er konstanter, der hhv. antager værdierne 0,04, -0,25 og 2,32.

Der er anvendt en terrænmodel som nedre grænse sammen med bygningsmodellen. Terrænet er påført en ruhed svarende til $z_o = 0.03$ m. Bygningerne betragtes som glatte overflader, og på de frie rande er der anvendt symmetri.

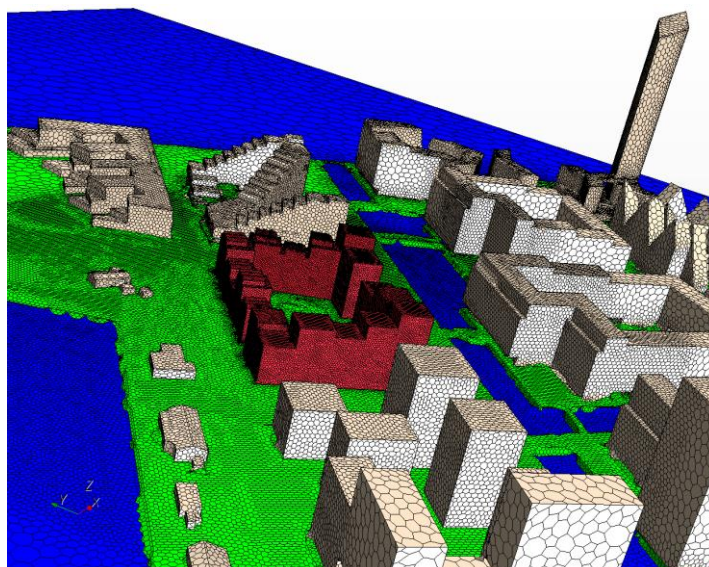
2.3 Beregningsnet



Figur 2.1 Perspektiv billede af overfladenettet omkring Havnehusene

- Som resultat af en undersøgelse af modellens netafhængighed er det benyttet et net med en opløsning på: 25 cm tæt på bygningen
- 100 cm i en radius af 150 meter fra centrum af bygningen
- Op til 5 meter i resten af byen – afhængig af geometri.

Hermed er der genereret et beregningsnet med 2,4 millioner beregningsceller.



Figur 2.2 Beregningsnet tæt på Havnehusene

Herudover er der benyttet et 5 lags prismelag tæt på alle overflader for at beskrive grænselaget bedre.

3. Resultater

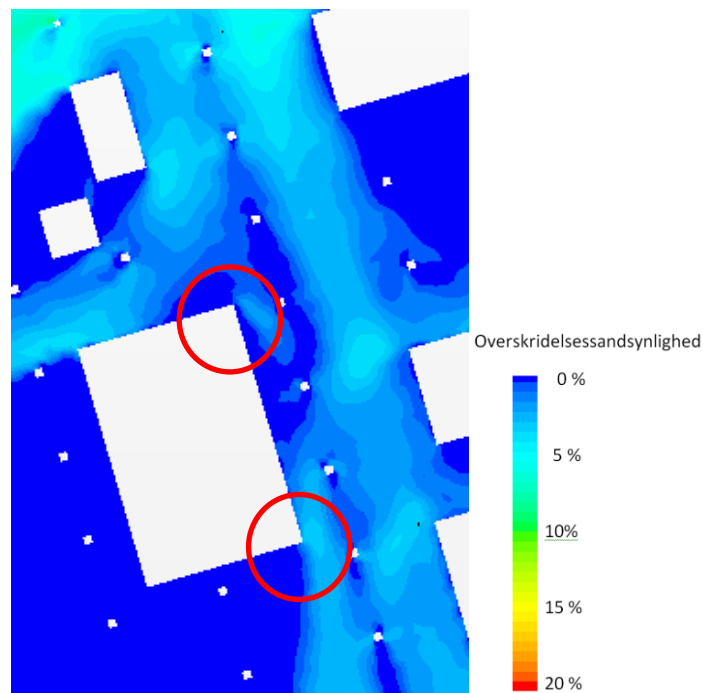
Det undersøges først om de generelle komfortniveauer er overskredet i forhold til de planlagte aktiviteter. Figur 3.1 angiver overskridelsessandsynligheden for komfortabel vind og skal sammenlignes med tabel 1.

3.1 FAKTABOKS

Hvordan skal man læse overskridelsessandsynligheder?

Overskridelsessandsynligheder fremkommer ved at studere beregningspunkter omkring bygningen. Disse punkter er udvalgt således at de befinder sig 1,72 meter over jordoverfladen – eller 1,72 meter over terrasse niveau og har en gennemsnitlig afstand på 1 meter i planen. I denne analyse er der undersøgt 77.000 punkter omkring bygningen. I hvert punkt betragter man vindhastigheden fra hver af de 12 undersøgte vindretninger. For hver retning beregnes hvor lang tid vindhastigheden er overskredet i forhold til det undersøgte komfortniveau (f.eks 6 m/s). Da det ikke blæser lige hyppigt fra alle retninger multiplicerer man overskridelse tiden med hyppigheden for hver retning. Lægges resultaterne sammen fra alle regninger fås den årlige overskridelsessandsynlighed (i %) og dette afbildes som en farve i hvert analysepunkt.

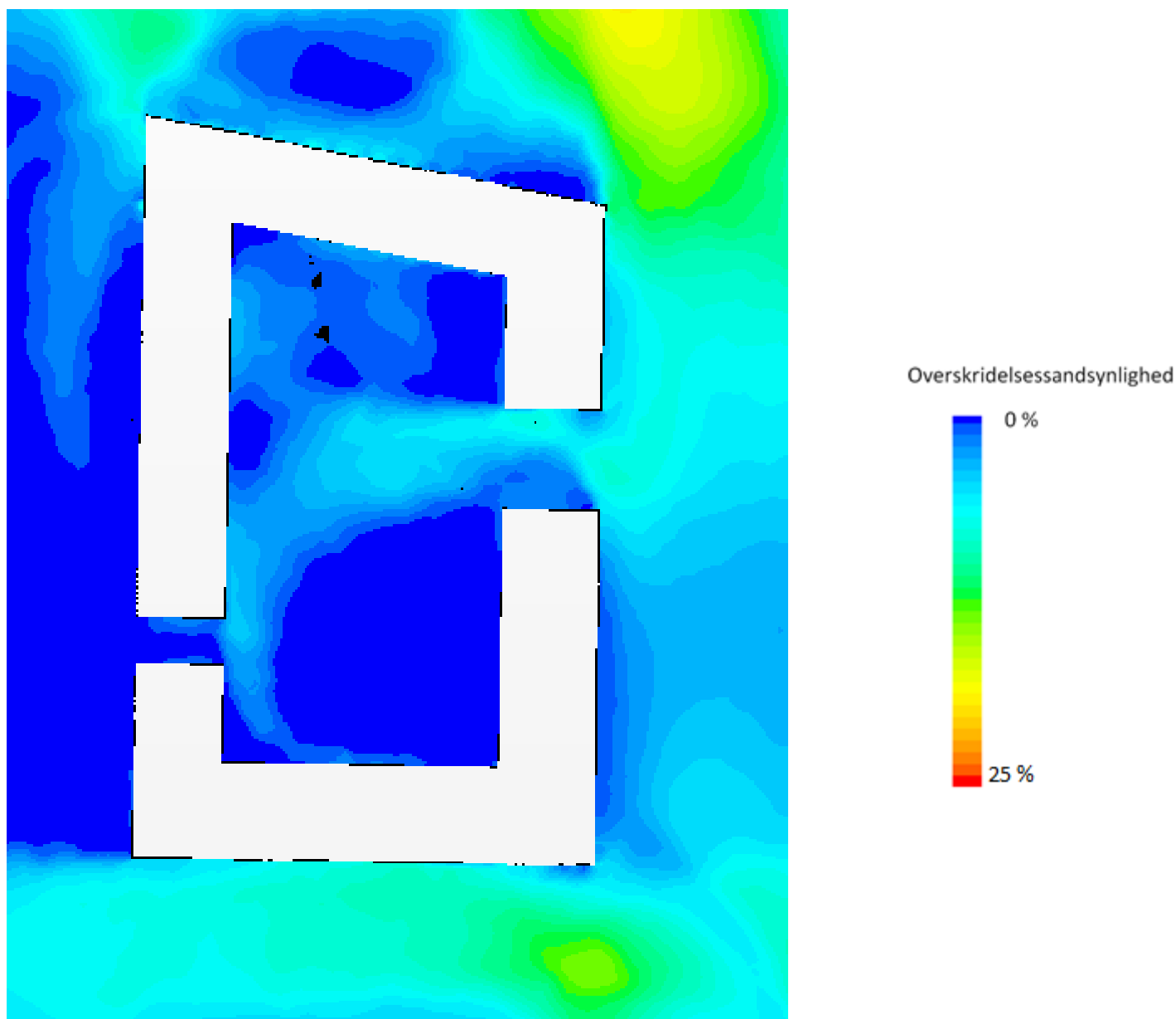
Betragtes f. eks 2 hjørnepunkter (røde cirkler) omkring en bygning får man flg. figur:



Man kan ud fra farveskalaen se at overskridelsessandsynligheden for komfort ligger under 5 %, hvilket placerer det i niveau A eller B (tabel 1). Dette er fuldt acceptabelt til denne form for aktivitet.

3.2 Komfortniveauer omkring Havnehusene

Det kan ud fra figur 3.1 ses at de fleste områder befinder sig med en overskridelsessandsynlighed på under 5 %. Dette svarer til niveau A eller B efter den hollandske vindnorm. Dette må betragtes som særdeles tilfredsstillende.

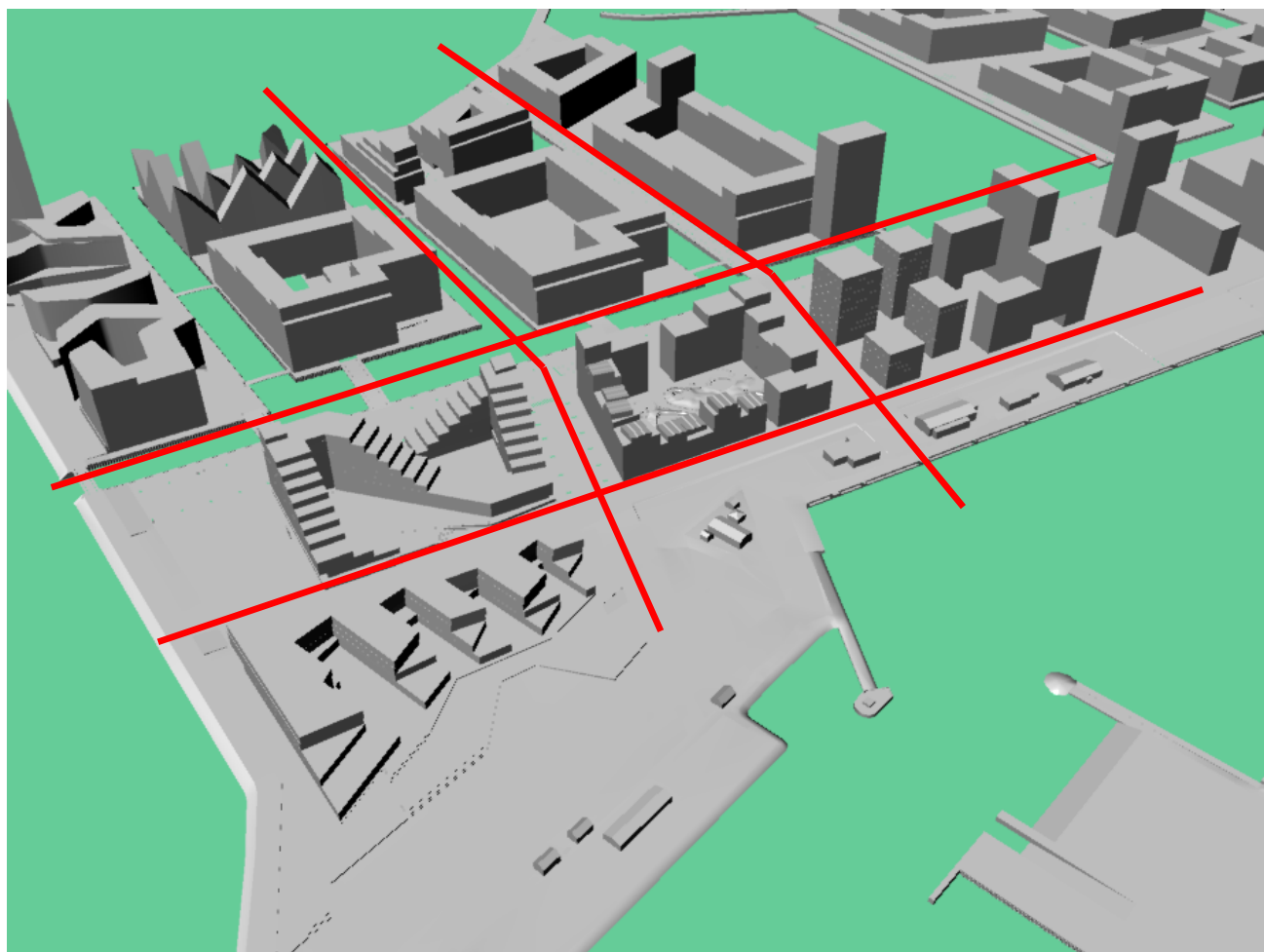


Figur 3.1 Komfort niveauer

Generelt er der komfortable vindforhold omkring bygningen. Alle steder holder sig under grænseværdierne på 20 %. Inde i gården i midten af bygningen ses at der vil være en zone fra den sydøstlige indgang mod den nordvestlige indgang, hvor der kan være mere vinduro end i resten af området. Denne passage gennem bygning kan skab lidt højere vinduro ved enkelte vindretninger end hvad man ellers kan forvente af en lukket gård.

Det skal bemærkes at i det nordøstlige og sydlige område er der forstærket turbulens. Middelhastighederne er ikke voldsomme, men turbulensen er kraftig mellem bygningerne. Dette skyldes primært den måde grundene er placeret på i forhold til hinanden.

Det ses af figur 3.2, hvor havnehusenes relative placering er illustreret



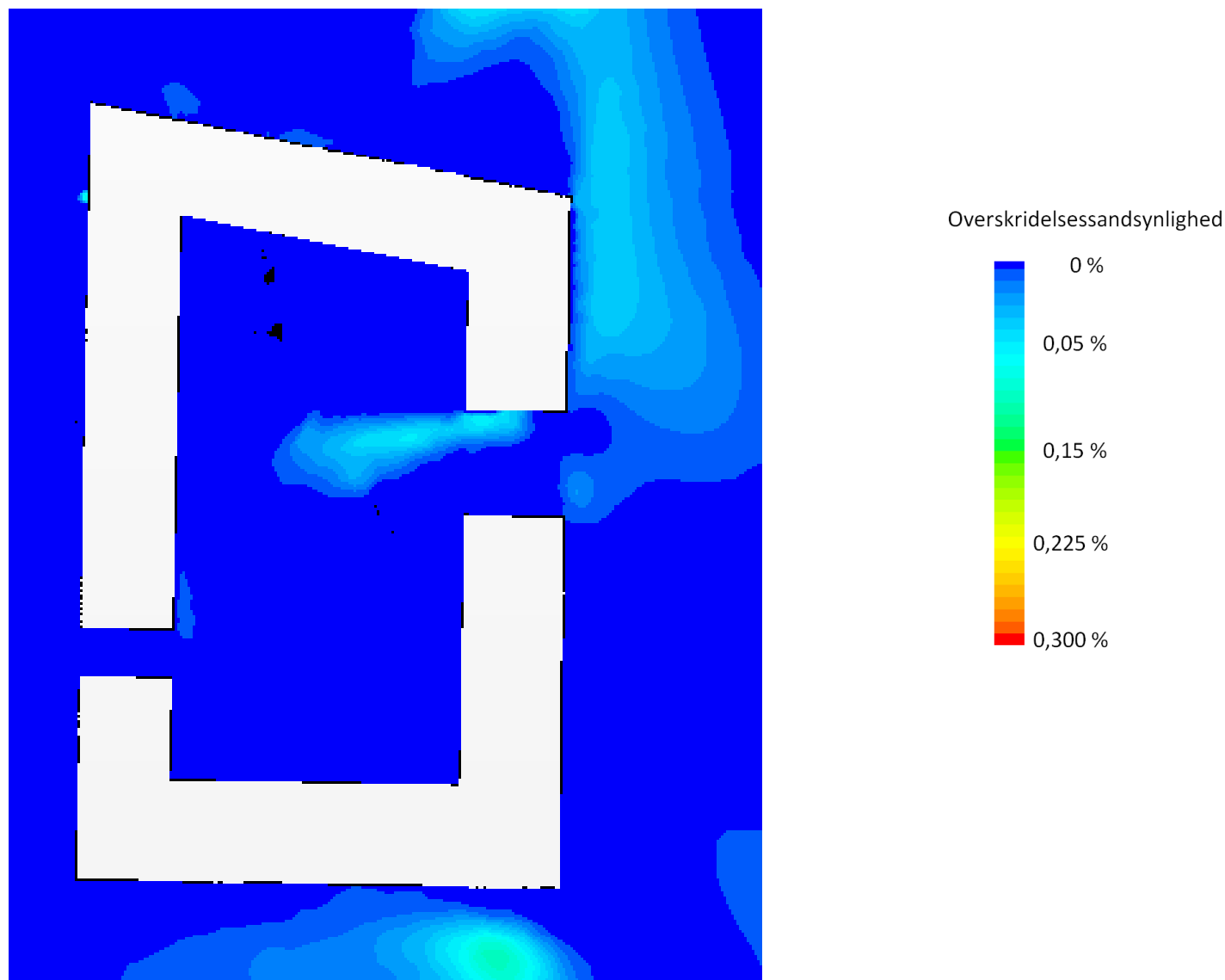
Figur 3.2 visualisering af områdets layout. De røde linjer angiver veje eller kanaler hvor vinden kan bevæge sig i nær jordniveau.

Området er inddelt i felter, der enten er veje eller kanaler. Langs disse kanaler kan vinden bevæge sig næsten uhindret. Ligeledes er bygningen ikke beskyttet den vestlige side, der vender ud mod lysbådehavnen. De kraftigere turbulente områder, der befinder sig i krydsene mellem kanaler og veje. Disse områder optræder ikke som resultat af havnehusenes udformning, men som følge af hele områdets layout. Effekterne af disse områder kan ses på figurerne : 4.1 – 4.12.

Pga. af deres placering vurderes disse ikke at være til gene for havnehusene

3.3 Sikkerhedsniveauer omkring Havnehusene

Sikkerhedsniveauet angiver om der kan være problemer for dårligt gående personer eller børn at færdes i området. Overskridelsessandsynligheden skal sammenlignes med tabel 2.



Figur 3.3 Sikkerheds niveauer

Det ses at de højeste niveauer opnås i det nordøstlige og sydlige hjørne. Årsagerne til disse forhold er grundet i områdets generelle layout og ikke i bygningens udformning.

Der kan opstå ubehagelig vind – uden den dog vurderes til at være farligt. Da bygningerne syd for Havnehusene endnu ikke er geometrisk fastlagt og da området som sådan kun er delvist planlagt kan der med fordel ved senere undersøgelser vurderes om disse bygninger kan tilpasses således at vinduroen reduceres. Figur 3.2 viser hvordan bygningerne øst, sydøst og syd kun er tentativt beskrevet med klodser.

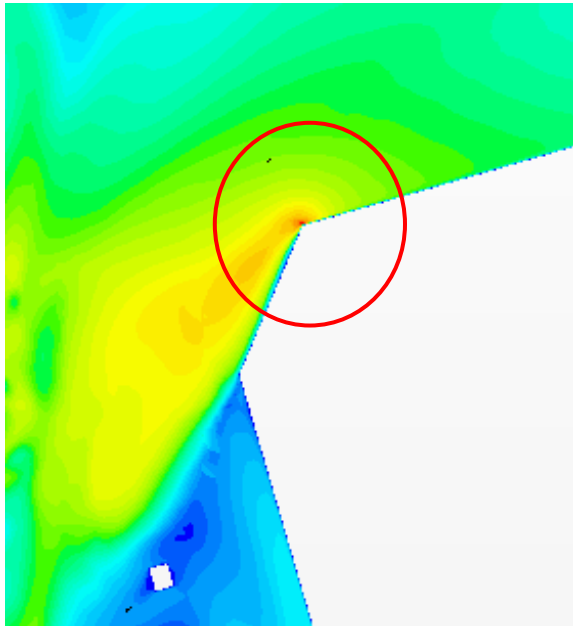
4 Hastighedsfordelinger

4.1 FAKTABOKS

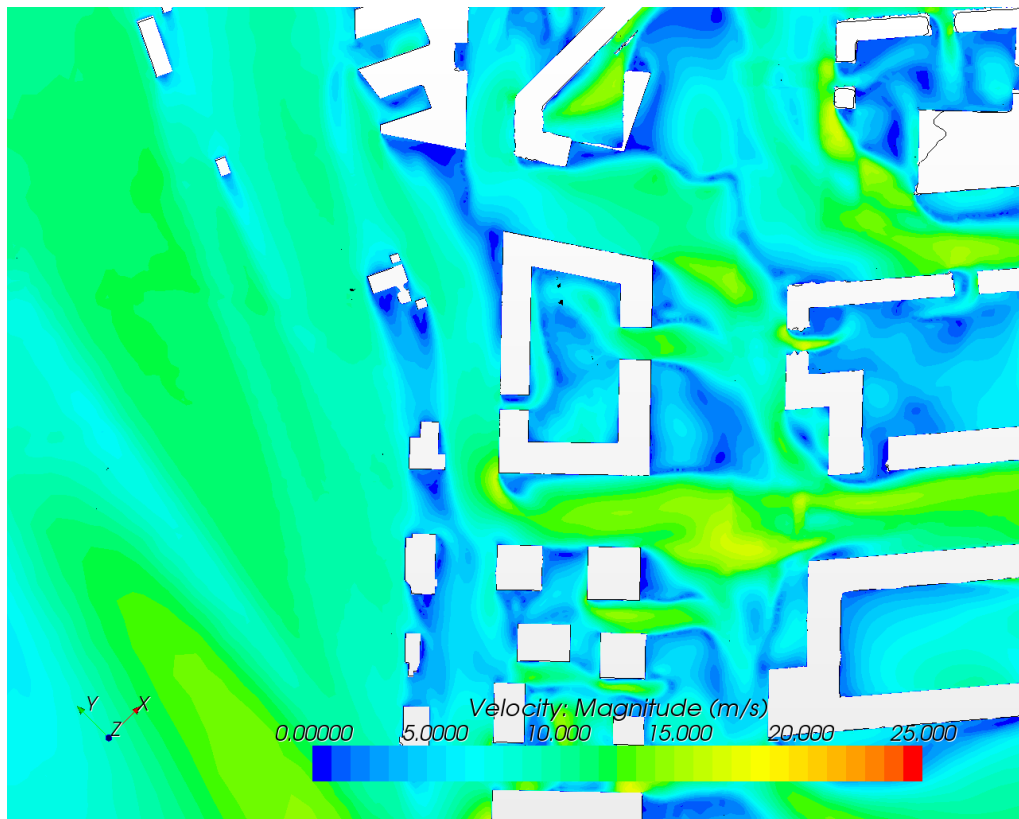
Hvordan skal man læse Hastighedsfordelinger?

For at illustrere hvordan virker på bygningen fra forskellige retninger er der vist strømningshastigheden i et niveau der svarer til 1,72 meter over jord eller terrasse niveau. Beregningerne er gennemført med en vindhastighed på 15 m/s i 10 meters højde. Det er derved muligt at sammenligne de enkelte retninger direkte. Man skal dog være opmærksom på at der ikke er tale om gennemsnitlige vindforhold – kun en relativ sammenligning.

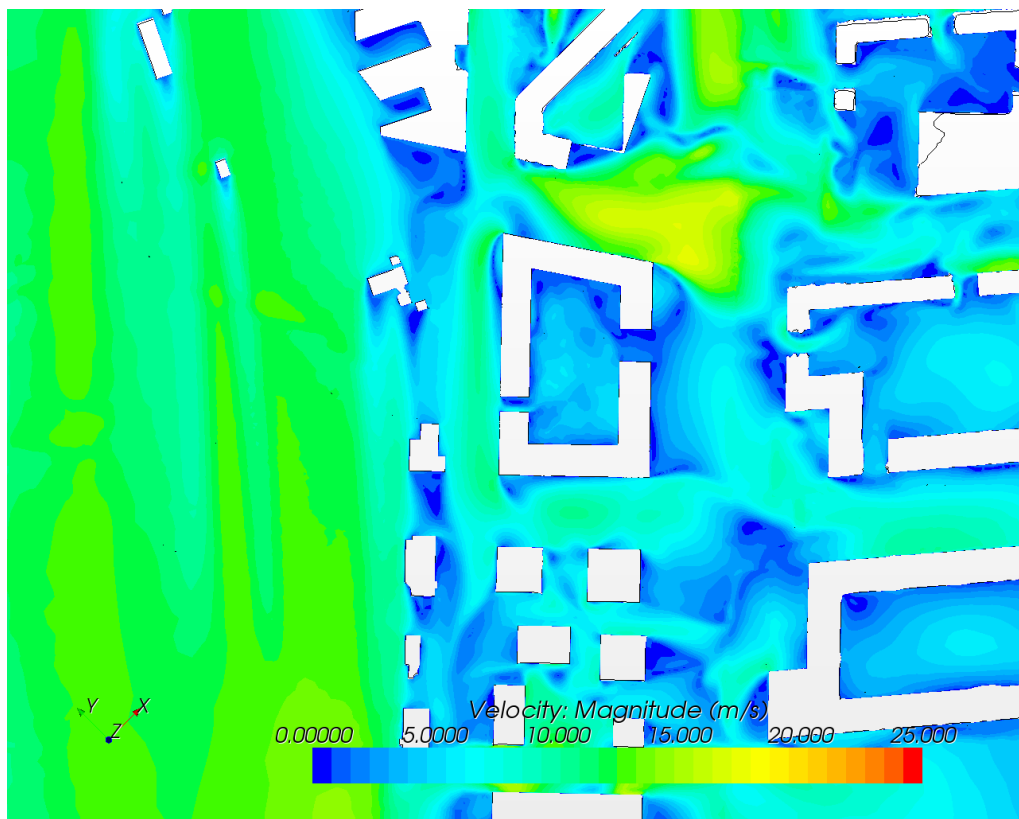
Betragtes f. eks et bygningshjørne kan man se at hastigheden er meget stor lige i hjørnet.



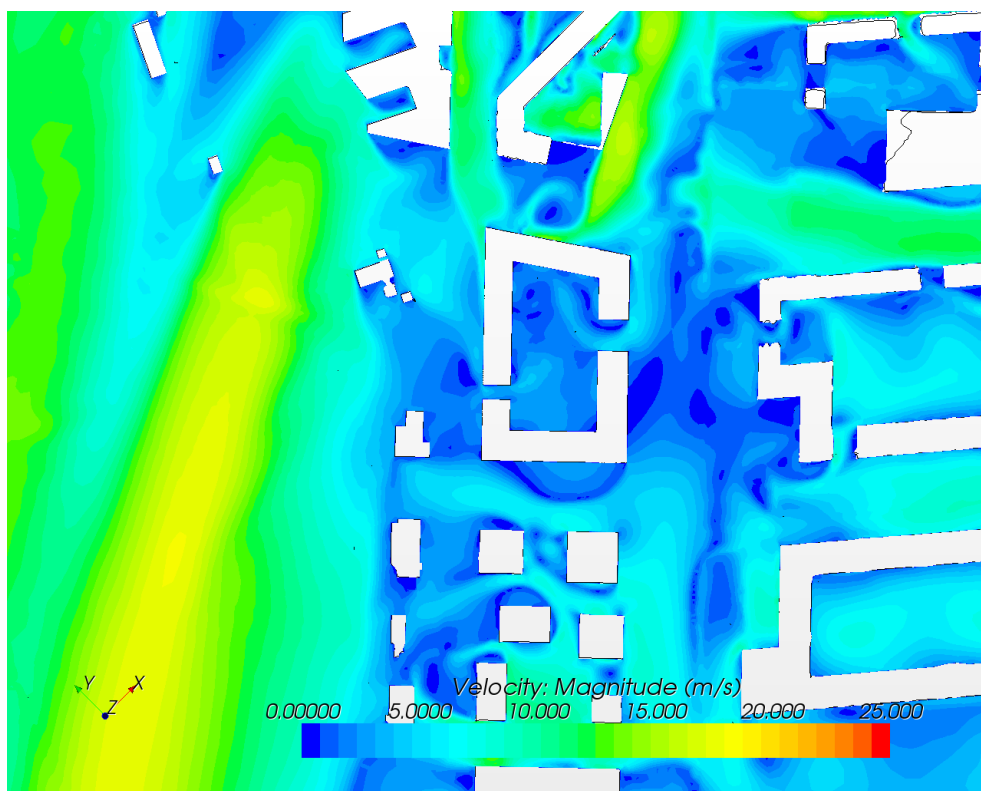
Faktisk kan man se at fra denne vindretning bliver hastigheden ved hjørnet ca. dobbelt så stor som vinden væk fra bygningen i samme højde. Hastigheden bliver dermed forstærket med en faktor 2 i denne vindretning.



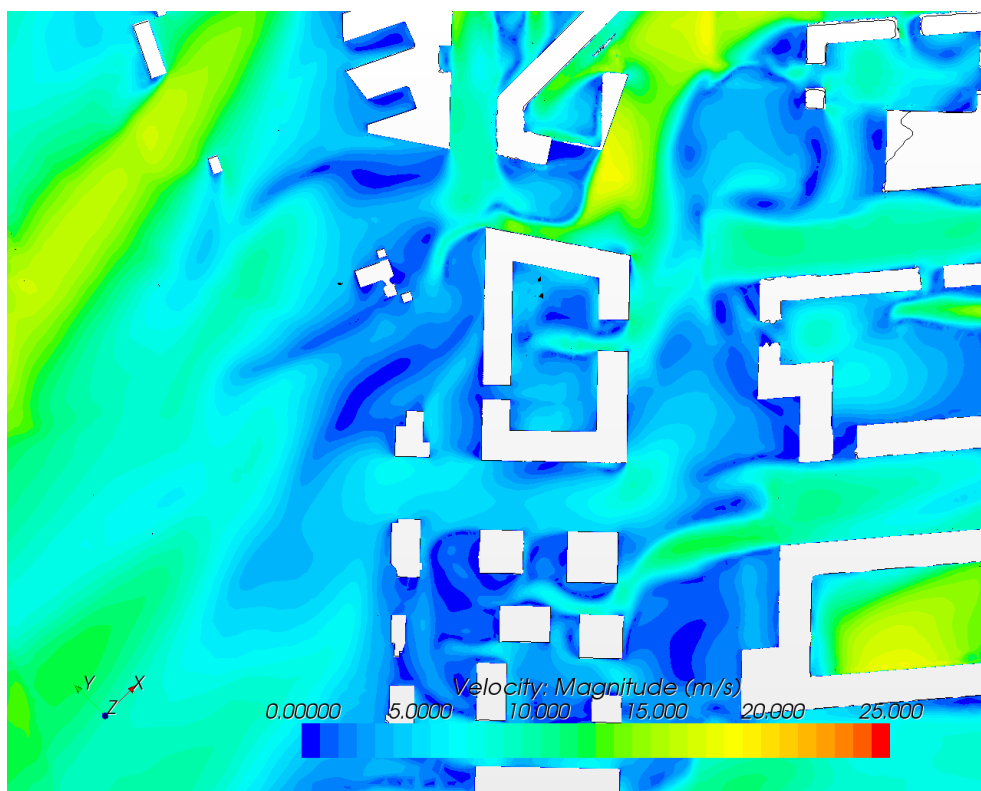
Figur 4.1 Vindhastigheder ved vindretning 0 (nordlig vind)



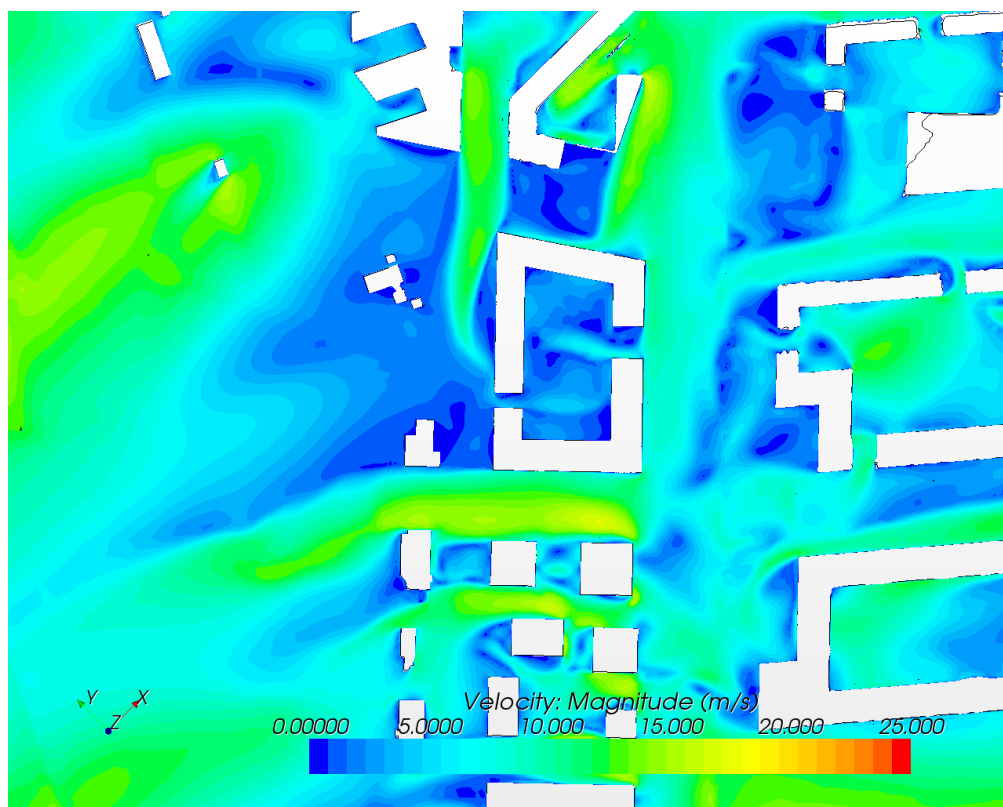
Figur 4.2 Vindhastigheder ved vindretning 30



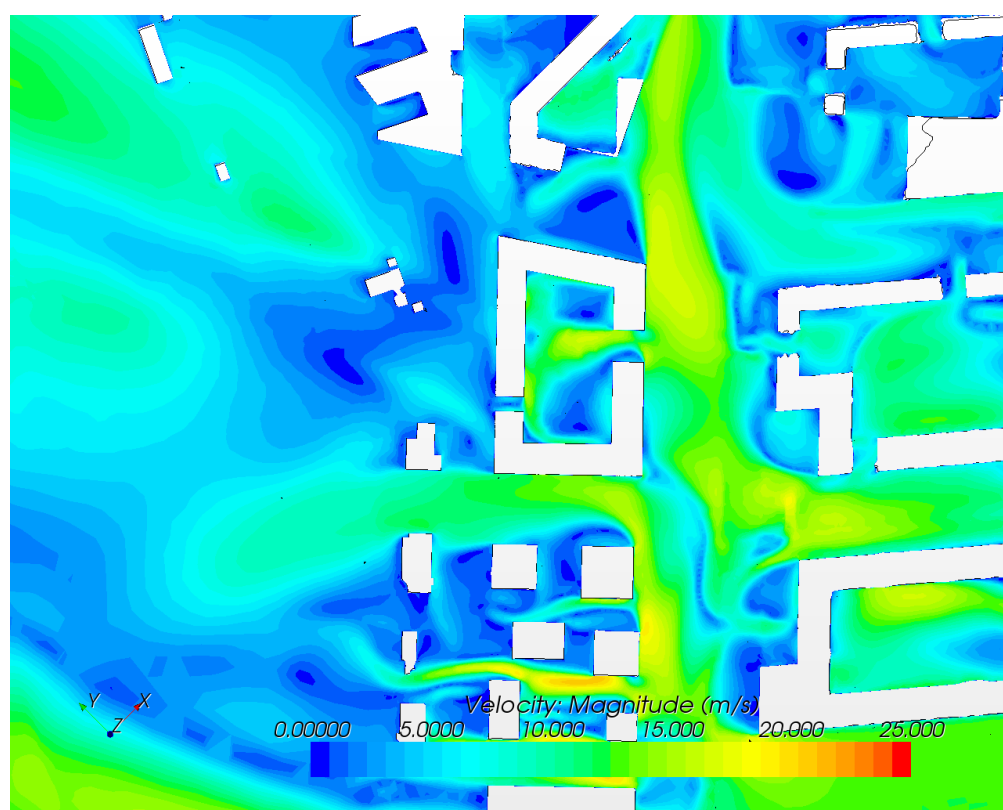
Figur 4.3 Vindhastigheder ved vindretning 60



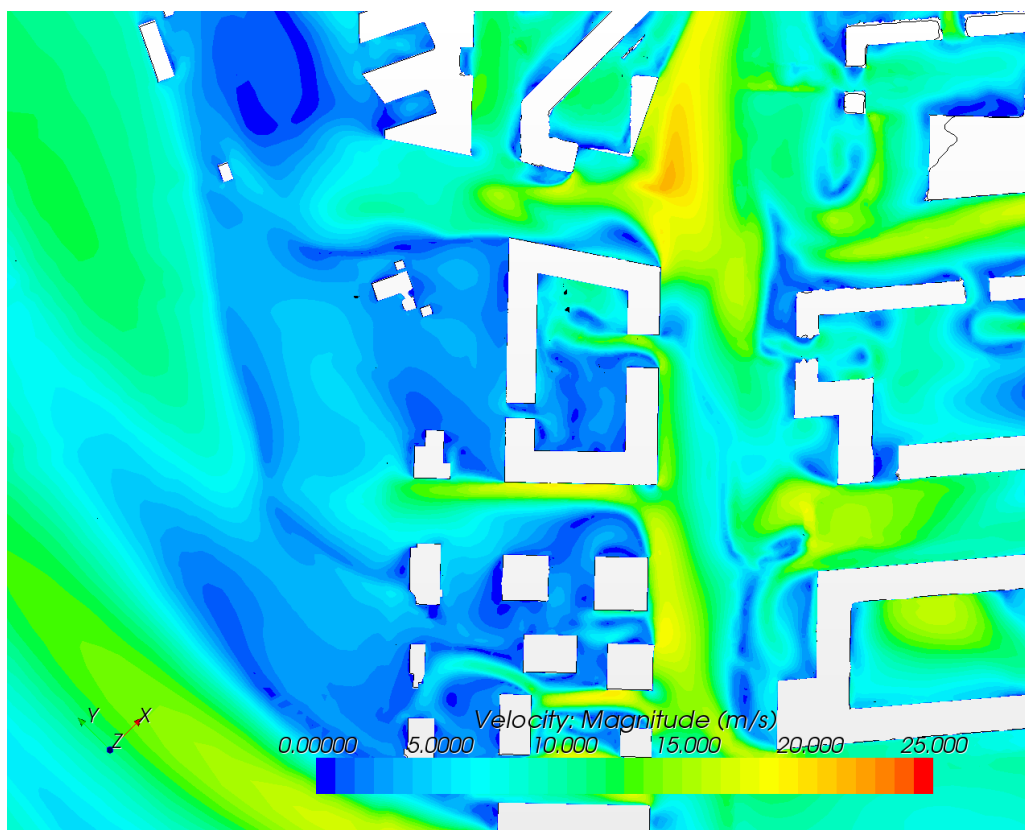
Figur 4.4 Vindhastigheder ved vindretning 90 (Østlig vind)



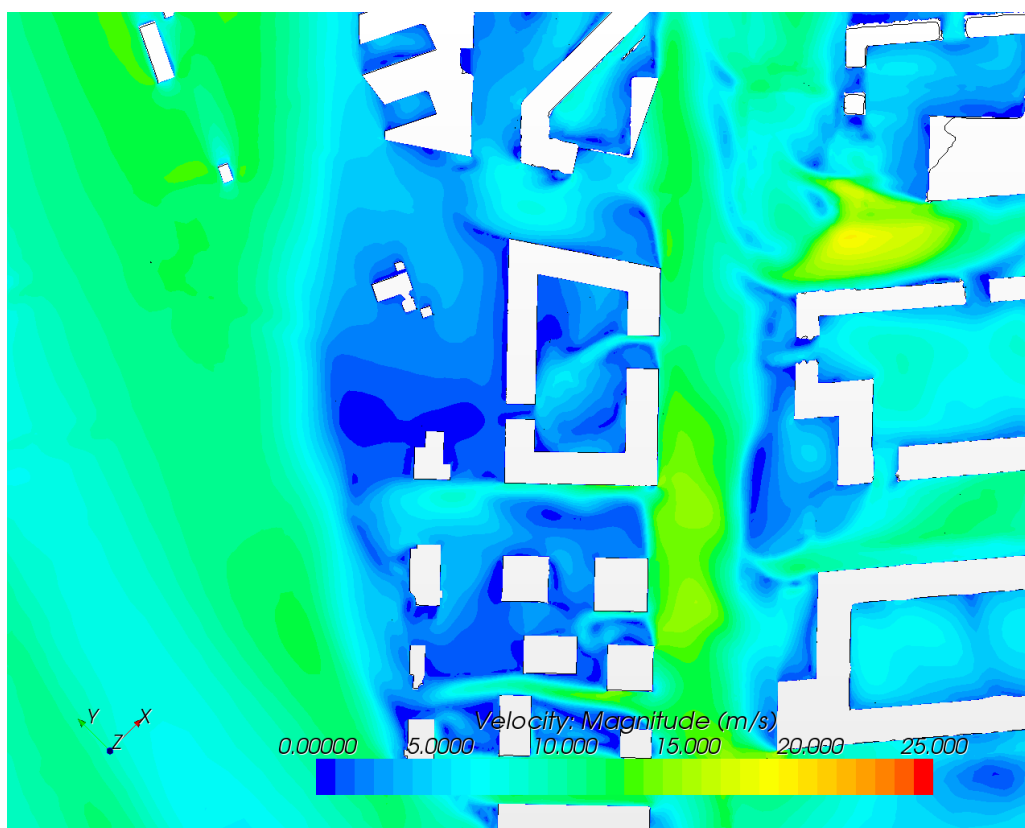
Figur 4.5 Vindhastigheder ved vindretning 120



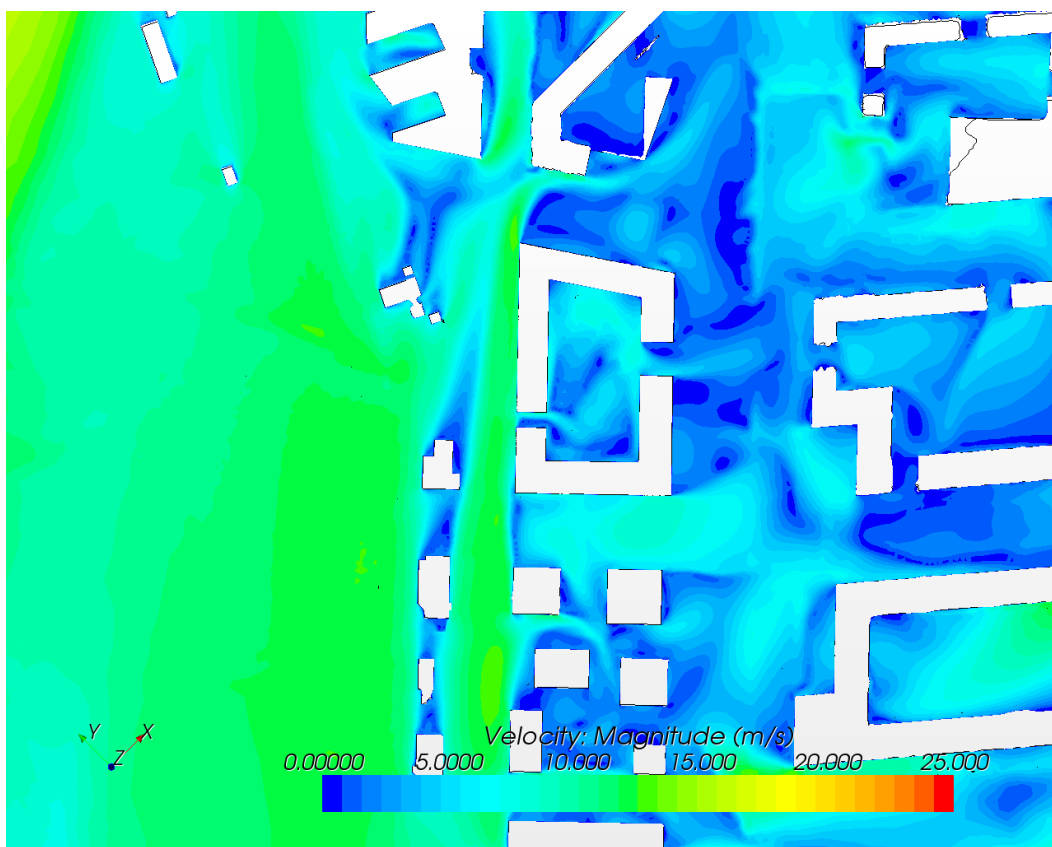
Figur 4.6 Vindhastigheder ved vindretning 150



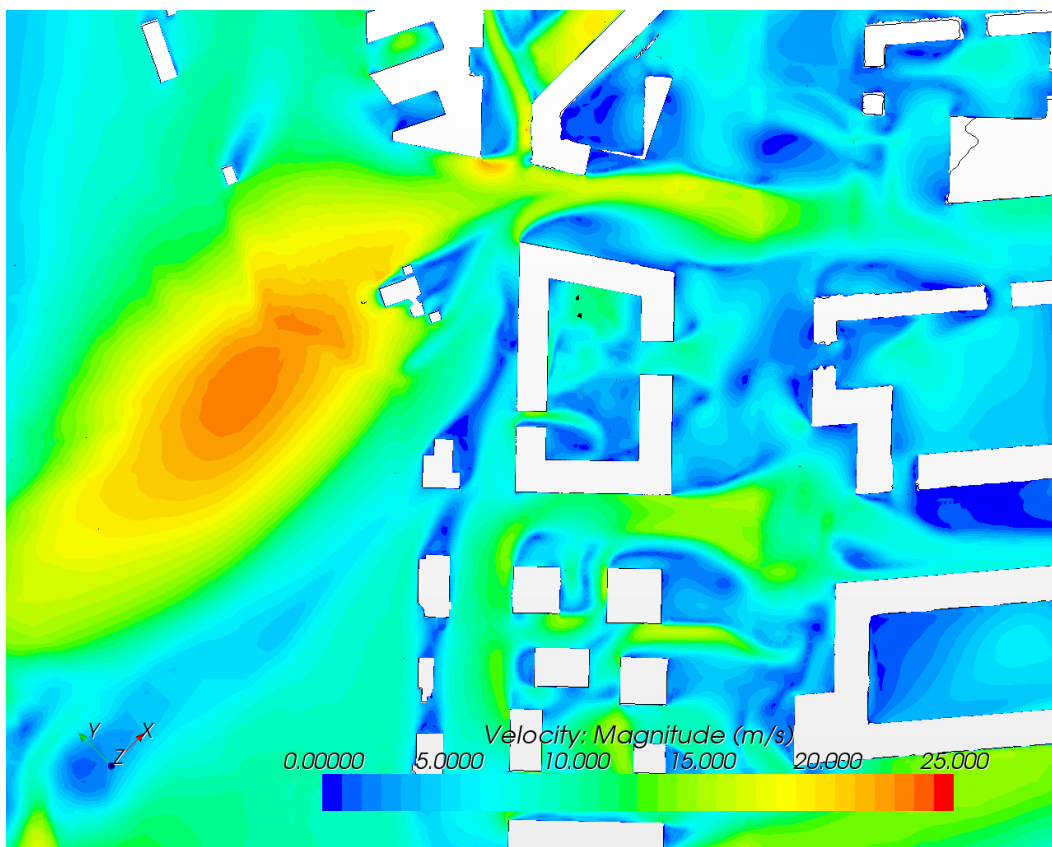
Figur 4.7 Vindhastigheder ved vindretning 180 (Sydlig vind)



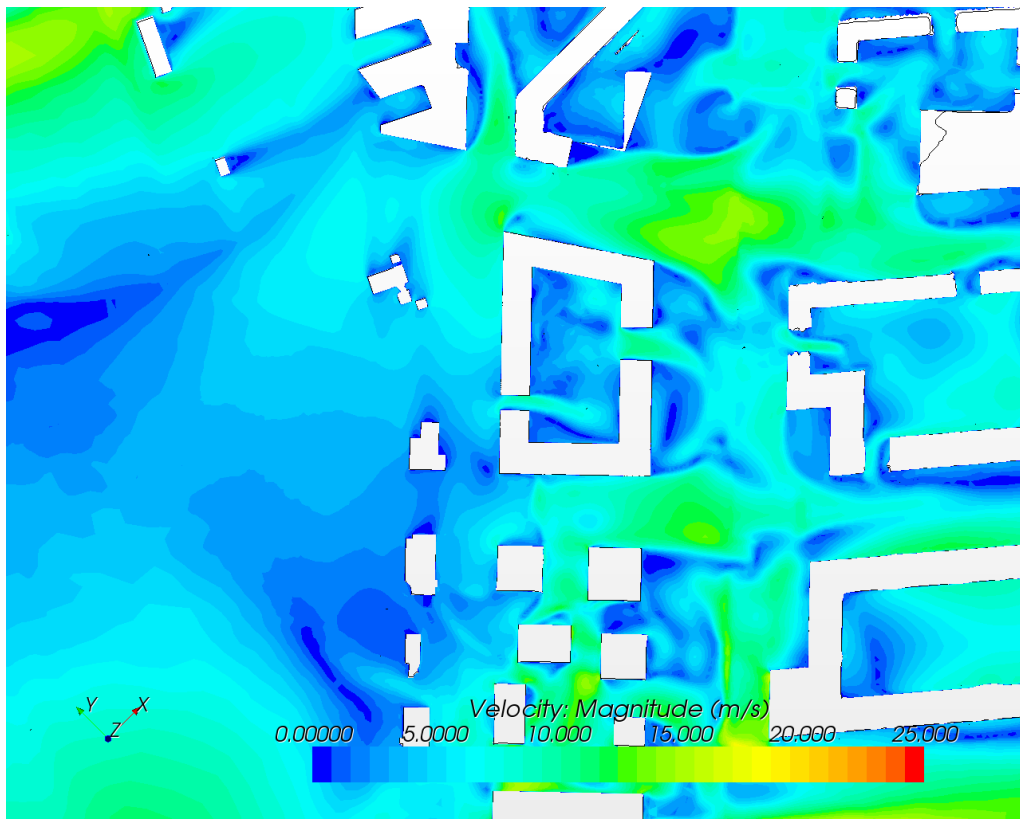
Figur 4.8 Vindhastigheder ved vindretning 210



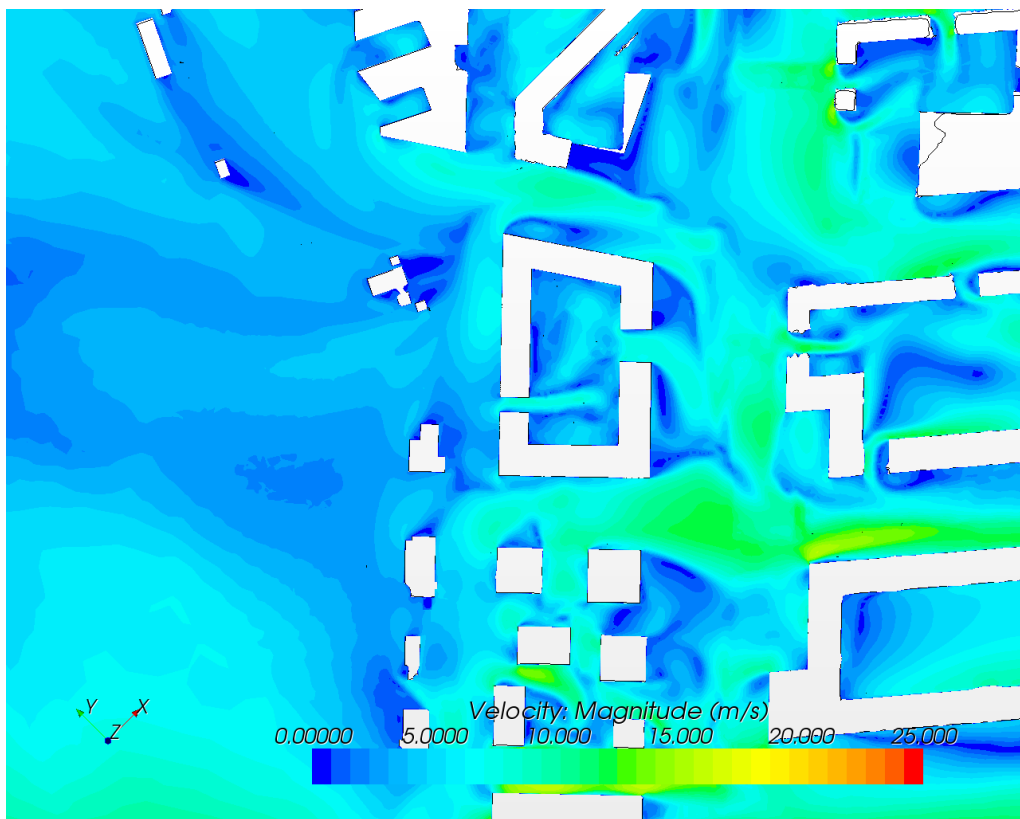
Figur 4.9 Vindhastigheder ved vindretning 240



Figur 4.10 Vindhastigheder ved vindretning 270 (Vestlig vind)



Figur 4.11 Vindhastigheder ved vindretning 300



Figur 4.12 Vindhastigheder ved vindretning 330

5 Konklusion

Placeringen på området gør at der godt kan optræde vinduro, der på nogle dage kan opleves som forstyrrende. Men langt de fleste dage vil området være kendetegnet af behagelige vindforhold i et meget attraktivt område. Det skal bemærkes at placeringen nær vand bort fra byen helt naturligt gør området mere udsat for højere vindhastigheder end i byen.

Det kan konkluderes at på de foreliggende beregninger:

- Der er generelt acceptable komfortforhold omkring bygningen og i bygningens indre gård. Dog kan der optræde ukomfortabel vind langs kanaler og veje. Det vurderes områdets layout med krydsene kanaler og veje er den primære årsag til dette. Af hensyn til færdsel kan der næppe ændres ved dette.
- Sikkerheden for området er generelt meget tilfredsstillende. 97 % af områdets arealer ligger under niveau for det sikreste vindklima, mens kun 3 % ligger i mellemområdet. Disse områder er placeret midt på vejen mellem bygningerne og vurderes ikke til at udgøre en fare for gående og cyklende trafikanter.
- Bygnings sydøstlige indgang kan periodevis opleve turbulens og højere vindhastigheder end der vil opleves behageligt. Den beplantning som er visualiseret i illustrationerne vil sandsynligvis medvirke til at gøre vindforholdene i den indre gård mere behagelige.

Samlet vurderes vindforholdene til at være acceptable.

6 anbefalinger

Vindforholdene omkring Havnehusene er ifølge disse beregninger acceptable. Den beregnede geometri vil sammen fornuftige betingelser for transport og ophold i området.

Det anbefales at vurdere behovet for beplantning ved den sydøstlige indgang når bygningen er etableret, da dette kan medvirke til gode opholdsvilkår i den indre gård.

Litteratur

Bjerregaard, E. og F. Nielsen (1981). SBI-Anvisning 128: Vindmiljø omkring bygninger. In

Danish. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Blocken, B. og J. Carmeliet (2004). „Pedestrian wind environment around buildings: Literature review and practical examples“. I: Journal of Building Physics 28.2, s. 107.

Blocken, B. og J. Persoon (2009). „Pedestrian wind comfort around a large football stadium in an urban environment: CFD simulation, validation and application of the new Dutch wind nuisance standard“. I: Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 97.5-6, s. 255 –270.

Franke, J., Hirsch, C., Jensen, A.G., Krüs, H.W., Schatzmann, M., Westbury, P.S., Miles, S.D., Wisse, J.A., Wright, N.G., (2004). Recommendations on the use of CFD in wind engineering. In: van Beeck, J.P.A.J. (Ed.), Proceedings of the International Conference on Urban Wind Engineering and Building Aerodynamics. COST Action C14, Impact of Wind and Storm on City Life Built Environment. Von Karman Institute, Sint-Genesius-Rode, Belgium, 5–7 May 2004.

Hunt, J., E. Poulton og J. Mumford (1976). „The effects of wind on people: new criteria based on wind tunnel experiments“. I: Building and Environment 11.1, s. 15–28.

Menter, F. (1994). „Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications“. I: AIAA journal 32.8, s. 1598–1605.

Troen, I. (1989). European wind atlas. Risø National Laboratory.

Wieringa, J. (1986). „Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages“. I: Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 112.473, s. 867–889.

Wieringa, J. (1992). „Updating the Davenport roughness classification“. I: Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 41.1-3, s. 357–368.

Yang, W., Y. Quan, X. Jin, Y. Tamura og M. Gu (2008). „Influences of equilibrium atmosphere boundary layer and turbulence parameter on wind loads of low-rise buildings“. I: Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96.10-11. 4th International Symposium on Computational Wind Engineering, s. 2080 –2092.

Yang, Y., M. Gu, S. Chen og X. Jin (2009). „New inflow boundary conditions for modelling the neutral equilibrium atmospheric boundary layer in computational wind engineering“. I: Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 97.2, s. 88–95